UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL ESTADO DE MORELOS



SISTEMA DE CONTROL DE GASES CON MEZCLA DE VAPOR DE AGUA EN UN HORNO DE ALTOS FLUJOS RADIATIVOS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTA

EDUARDO MADRIGAL MENDEZ

DIRECTORES DE TESINA

DR. CORNELIO MORALES MORALES (Interno)
DR. CARLOS ALBERTO PÉREZ RÁBAGO (Externo)

JIUTEPEC, MORELOS

AGOSTO 2016

Contenido

Resumen	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Capítulo I	1
Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del Problema	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos:	4
1.5 Justificación; Error! Marc	cador no definido.
1.6 Hipótesis;Error! Marc	cador no definido.
1.7 Alcances y Limitaciones	5
1.8 Metodología de Solución	6
1.9 Organización de la Tesina	7
Capítulo II	8
Marco Teórico	8
2.1 Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER)	8
2.1.1 Helióstato	9
2.1.2 Atenuador	9
2.1.3 Concentrador	9
2.1.4 Mesa de Experimentación	9
2.2 LabVIEW	10
2.3 SolidWorks	11
2.4 Controlador Mezclador de Vapor (CEM)	14
2.5 Flujometros;Error! Marc	cador no definido.
2.6 Analizadores Químicos	15
2.6.1 Calomat 6	16
2.6.2 Ultramat 23	17

2.7 Convertidor Serial-USB	17
2.8 FLOW - BUS	18
2.9 Termopares	19
Capítulo III	21
Diseño de la Solución	21
3.1 Modelado del sistema;Error! Marca	dor no definido.
3.2 Diseño por etapas	25
3.3 Diseño de estructuras	26
3.3 Diseño de la interfaz de control	29
3.3.1 Interfaz de control del banco de flujometros	30
3.3.2 Interfaz de control del CEM	32
3.3.3 Interfaz de temperatura	33
3.3.4 Características de la interfaz de control del sistema	34
Capítulo IV	35
Comprobación de la Solución	36
4.1 Implementación y resultados;Error! Marca	dor no definido.
4.1.1 Banco de flujometros	36
4.1.2 CEM;Error! Marca	dor no definido.
5. Conclusiones Y trabajos futuros	46
5.1 Trabajos Futuros	48
6. Referencia Bibliográfica	48

Resumen

El presente trabajo fue desarrollado en el área de concentración solar del Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM, bajo la dirección del Dr. Carlos Alberto Pérez Rábago.

El proyecto pertenece a una línea de investigación en termoquímica solar que tiene como objetivo crear una constante de innovación en cuestiones de estudio y desarrollo tecnológico. Es por ello que el equipo de investigadores requiere dotar a los experimentos, de un sistema capaz de controlar y monitorear una mezcla de gases, el cual se montó en la mesa de experimentación del horno solar de altos flujos radiativos (HoSIER). Por lo que, este proyecto centra su importancia en la implementación de un sistema de mezcla de gases que pueda lograr como resultado una salida de gas a una temperatura igual y/o mayor a 110°C.

El alcanzar una temperatura mayor y/o igual a 110° requiere del control del flujo de diversos gases para lograr una mezcla perfectamente regulada, así como mezclar al flujo una corriente de vapor de agua. En el proyecto de termoquímica solar se determinó dividir la interfaz de control en dos secciones independientes para manipular a conveniencia los experimentos requeridos en el HoSIER: el primero es un banco de mezclado de gases que controlan el flujo deseado de los diferentes tipos de gas y el segundo es la etapa donde los gases son mezclados con el vapor de agua para posteriormente conectarlo a los reactores de la mesa de experimentación.

El diseño de la interfaz gráfica de control del sistema mezclador de gases y generador de vapor tienen como finalidad obtener la mezcla de gas requerida por la mesa de experimentación del HoSIER, un monitoreo de funcionamiento y un manejo del sistema más práctico, es decir, el sistema de control de gases con mezcla de vapor de agua para un horno solar de altos flujos radiativos, es realizado desde un ordenador y la interfaz gráfica presenta un diseño amigable con el usuario. También, la interfaz gráfica presenta dos características importantes: la lectura del flujometro instalado en el mezclador de gases y el sistema de alarmas que el propio usuario puede configurar.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por este logro, de haber concluido satisfactoriamente la universidad, por prestarme y enviar a mi camino a todos aquellos seres queridos, gracias a ello he sumado valor a mi persona con optimismo y ganas de salir adelante, por toda la sabiduría e inteligencia que me ha dado a través de diversas situaciones y por la salud que nunca ha faltado en mi familia.

Al Dr. Carlos Alberto Pérez Rábago por dirigirme en el desarrollo del proyecto, brindarme su tiempo, por su confianza a pesar de mis dificultades personales y económicas, sinceramente agradezco demasiado toda la paciencia y apoyo que siempre demostró.

Al Dr. Cornelio Morales Morales por dirigirme y apoyarme en el desarrollo del proyecto, desde la primera vez que tuve la oportunidad de conocerlo como profesor, siempre demostró ser una persona justa, comprensiva y paciente. Durante mi estancia en la universidad me apoyo con consejos y comentarios constructivos (pequeños regaños), por todo eso, gracias profesor.

A mis padres por toda una vida de sacrificio, trabajo y esfuerzo, con la elaboración de este proyecto quiero que conozcan que ningún sacrificio fue en vano, a pesar del tiempo que me llevo finalizar mi carrera profesional, quiero que sepan que termino la universidad y que todo aquel miedo que alguna vez les comente acerca de la vida ha desaparecido en su totalidad, gracias por todo lo que me han enseñado y momentos difíciles que he vivido con ustedes. Este tan importante acontecimiento es el primero de muchos logros, de muchas metas, de mi vida profesional y personal, sus nombres siempre estarán grabados en el pilar principal de cada logro, con respeto, admiración y amor, ¡Gracias!!

A mis amigos Jorge (Men), Mauricio y Joab por su apoyo en toda mi etapa de vida universitaria, gracias por su amistad por aquellos proyectos que terminamos a unas cuantas horas de entrega, esos días de esfuerzo, trabajo, desvelos, partidas de videojuegos y mal pasadas todo será inolvidable, los aprecio mucho y sé qué haremos grandes cosas.

Agradezco también a mis demás amigos compañeros de grupo, con los cuales vivimos los buenos y malos momentos juntos, siempre supimos llevarnos bien trabajar en equipo disfrutar varios partidos de futbol, el relajo sano que siempre mantuvimos, gracias por todo, les deseo el mejor de los éxitos.

Índice de figuras

	Página
Figura 1.1 Diagrama de la Metodología de Solución del Proyecto de Tesina.	14
Figura 2.1 Esquema de la estructura del HoSIER.	15
Figura 2.2 Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER).	17
Figura 2.3 Versión del software LabVIEW.	18
Figura 2.4 Controlador-Mezclador de Vapor (CEM).	19
Figura 2.5 Flujometro Bronkhorst®.	20
Figura 2.6 Analizador Calomat 6.	21
Figura 2.7 Analizador Ultramat 23.	22
Figura 2.8 Convertidor Serial-USB.	22
Figura 2.9 Convertidor serial- Bus.	23
Figura 2.10 Di Termopar tipo K.	24
Figura 3.1. Diagrama a bloques del proceso del sistema.	25
Figura 3.2 Diagrama a bloques del sistema de flujometros.	29
Figura 3.3 Diagrama a bloques del mezclador de gas con vapor de agua.	30
Figura 3.4 Diseño y distribución del banco de flujometros.	31
Figura 3.5 Diseño de la estructura CEM.	32
Figura 3.6 Diagrama de flujo de flujo del programa del banco de flujometros.	34
Figura 3.7 Interfaz de la primera etapa del sistema.	35
Figura 3.8 Interfaz de la segunda parte del sistema.	36
Figura 3.9 Interfaz de temperatura.	37
Figura 3.10 Primera pestaña de la interfaz.	38
Figura 3.11 Pestaña SETPOINT de la interfaz de control.	38
Figura 4.1 Banco de flujometros.	40
Figura 4.2 Cables de control de los flujometros.	40
Figura 4.3 Etapa de control manual de gases.	41
Figura 4.4 Multipuerto USB.	41
Figura 4.5 Conexión del FLOW-BUS.	42
Figura 4.6 Estructura de la segunda etapa del sistema.	43
Figura 4.7 Respuesta de la temperatura del CEM.	44
Figura 4.8 Medición de temperaturas.	45
Figura 4.9 Aislamiento del tubo.	47
Figura 4.10 Aislamiento completo del tubo.	48

Índice de tablas

Tablas	Página
Tabla 1.1 Aplicaciones de la energía solar	9
Tabla 4.1 Tiempos de espera	44
Tabla 4.2 Resultados de temperatura primer prueba.	46
Tabla 4.3 Resultados de temperatura segunda prueba.	48

Capítulo 1.

Introducción

Este capítulo describe de manera breve una introducción a las energías renovables y los antecedentes del proyecto, esto con el fin de posicionar en un contexto general y particular el problema a resolver en este tema de tesina. También, se describen los alcances y limitaciones, el objetivo general y específico, la hipótesis y la metodología de solución a seguir durante el desarrollo de la tesina.

1.1. Energías Renovables

Los combustibles fósiles como el petróleo, carbón mineral y gas natural son recursos finitos que inexorablemente van a agotarse; de ahí su denominación de "recursos no renovables". No obstante, existen las energías renovables definidas como las formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la mini hidráulica (ríos y pequeñas caídas de agua), la biomasa (materia orgánica), la geotermia (calor de las capas internas de la Tierra) y la oceánica, principalmente.

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía alternativa útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas las necesidades de energía presentes y futuras. Además, su utilización contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo tecnológico. A continuación, se da una breve descripción de cada una de las fuentes de energías renovables.

- 1. Energía Solar: es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol, en el cual se lleva una reacción termonuclear continua a varios millones de grados centígrados. Esta energía puede ser aprovechada por el ser humano a través de dos tecnologías: los sistemas fotovoltaicos y los sistemas foto térmicos.
 - **Sistemas Fotovoltaicos**: Funciona por medio del Efecto Fotoeléctrico o Efecto Fotovoltaico, en el cual la luz solar se convierte en electricidad sin usar ningún proceso intermedio. Los dispositivos que llevan a cabo la transformación de la luz solar a energía eléctrica son llamados Generadores Fotovoltaicos y a su unidad mínima se llaman Celdas Solares, que pueden ser conectadas en serie y/o paralelo.

- Sistemas Foto térmicos: Este funciona por medio de la conversión de la luz solar en calor sobre superficies que transfieren la energía a fluidos de trabajo para producción de calor de un proceso. Esto se puede conseguir por medio de dispositivos planos con superficies selectivas o por medio de dispositivos de concentración de radiación con superficies especulares y selectivas.
- **2. Energía Eólica:** Es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire es transformada en otras formas útiles de energía para actividades humanas. Las tecnologías de conversión son por "molinos de viento", clasificados en aerogeneradores de tipo vertical y horizontal.
- 3. Biomasa: Es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Las tecnologías encontradas en esta forma de conversión de energía son los biocombustibles y bioenergéticas. En los biocombustibles son derivados de un proceso físico-químico y están clasificadas en Biodiesel, Biogas y Bioetanol y en las bioenergéticas se refiere a que no sufren ningún cambio químico sino físico y están clasificadas en leña, bagazo de caña, residuos industriales y residuos forestales.
- **4. Energía Mareomotriz:** es la energía que se manifiesta en el mar de diversas formas: las olas, mareas, corrientes y gradientes térmicos.

Con base en lo anterior, la Tabla 1.1 presenta las principales aplicaciones de la energía solar.

Tabla 1.1. Aplicaciones de la energía solar.

Sistema	Características	Aplicaciones	
Colectores Planos	Bajas temperaturas. Tecnología simple. Bajo costo. Uso en la industria.	Uso industrial. Destiladores. Calentadores de agua.	
Colectores concentrados	Altas temperaturas Alto costo. Alta tecnología. Investigación de desarrollo.	Hornos Solares Refrigeración Plantas de fuerza	
Celdas Fotovoltaicas	Alta tecnología. Alto costo.	Satélites. Instalación rural. Instalación experimental.	
Helio- Arquitectura	Aplicación para calefacción y refrigeración de edificios.	Arquitectura solar. Instalaciones experimentales.	

Con base en la Tabla 1.1, un Horno Solar está clasificado dentro de la categoría de Sistemas de Concentración Solar. Esté utiliza la energía solar concentrada para producir altas temperaturas, aplicada principalmente en la industria y está compuesta por espejos parabólicos o helióstatos que concentran la luz en un punto focal. La temperatura en el punto focal puede llegar a 3,500°C. El calor generado se puede utilizar para procesar una variedad de materiales, para generar electricidad, fundir materiales o generar combustibles solares (hidrogeno o gas de síntesis).

Este proyecto de tesina está enfocado principalmente en los sistemas solares con concentración, que pueden alcanzar altas temperaturas, usadas para realizar estudios de termoquímica. Las ventajas que las distinguen de los sistemas de concentración solar son que pueden obtener elevadas temperaturas con menor área de absorción y entre sus desventajas es que concentra parte de la radiación solar (radiación directa y no difusa) usando dispositivos de seguimiento de trayectorias.

1.2. Antecedentes del Proyecto

El Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) realiza actividades de investigación científica, básica y aplicada en energías, con énfasis en energías renovables, que coadyuven al desarrollo de tecnologías energéticas sustentables; llevar a cabo estudios, asesorías y capacitación a los distintos sectores de la sociedad; formar recursos humanos especializados, y difundir los conocimientos adquiridos para el beneficio del país. Actualmente, el IER es la principal institución en México activa en investigación, innovación, divulgación y formación de especialistas en tecnologías energéticas sustentables.

El IER es sede del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (LACyQS), integrado por tres instalaciones solares: a) Horno Solar de Alto Flujo Radiactivo (HoSIER), b) Planta Solar Piloto para Tratamiento Fotocatalítico de Aguas Residuales (PSTFAR) y c) Campo de Pruebas para Heliostatos (CPH). Las dos primeras instalaciones están ubicadas en el Instituto de Energías Renovables y el tercero está ubicado en la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora. El propósito del laboratorio es constituir una red de grupos de investigación que, a través del diseño, construcción y operación de tres instalaciones solares avance en el desarrollo de tecnologías en México, generando conocimiento científico y tecnológico, así como la formación de recursos humanos de alto nivel en el área.

El HoSIER, es un instrumento que usa la energía solar concentrada tanto para investigación básica, aplicada y desarrollo tecnológico, como para el estudio de varios procesos industriales y el desarrollo de componentes de tecnologías para la generación termosolar de potencia eléctrica, entre otros. Este instrumento busca brindar un laboratorio donde se puedan diseñar, probar, analizar y producir nuevos materiales, sinterizado o degradación de compuestos, combustibles de bajo impacto ambiental

(como hidrógeno o gas de síntesis), así como, probar y evaluar propiedades de diferentes fluidos de trabajo, dispositivos aplicados a procesos termodinámicos como receptores y reactores fotoquímicos, todos estos sujetos a altos flujos radiactivos y/o temperaturas elevadas por arriba de los 1800 °C. De esta manera se busca dar servicios a institutos de investigación, universidades y diferentes ramas de la industria, tales como: industria química, cerámica y metal-mecánica.

1.3. Planteamiento del Problema

En el IER, existe una línea de investigación dedicado al estudio del proceso de producción de combustibles solares (hidrogeno y/o gas de síntesis) a partir de procesos termoquímicos con energía solar concentrada, para realizar estos estudios se cuenta con el HoSIER, que es un instrumento alimentado por energía solar concentrada para realizar investigación básica, aplicada y desarrollos tecnológicos, esto ha dado como resultado el estudio de varios procesos industriales.

Uno de los procesos actuales estudiados en los laboratorios del IER requiere que el HoSIER cuente con un sistema de control de gases para mezclar diferentes gases con vapor de agua, y este representa un problema debido a que el HoSIER no cuenta con este sistema de control, que modifique los niveles de concentración en la mezcla de gases y las temperaturas de salida. Aunado a este problema, esta tesina propone un prototipo capaz de solucionar el problema de la mezcla de gases con vapor agua a una temperatura deseada.

1.4. **Objetivos**

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de control para el mezclado de gases y adicionar a dicha mezcla vapor de agua para realizar pruebas experimentales de termoquímica en un horno de altos flujos radiativos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el banco de la estación de trabajo de los flujometros.
- Diseñar la estructura donde se lleva a cabo la generación de vapor de agua.
- Diseñar un sistema de control de valvulas y flujomentros de gases para la experimentación en el Horno de Altos Flujos Radiactivos.
- Diseñar el sistema de control del CEM.
- Desarrollar un plan de pruebas para validar el sistema de control de gases con mezclador de Vapor de agua.

1.5. Justificación

El desarrollo de un sistema de control del mezclador de gases con vapor de agua del HoSIER será realizado para realizar experimentación de procesos de termoquímica solar en reactores, cuya función principal será ampliar el control de flujometros a fin de entregar una mezcla de gases con vapor de agua a la mesa de experimentación del HoSIER. Este sistema entregará una mezcla de gases con vapor de agua a una temperatura mayor a 130 °C a la mesa de experimentación del HoSIER cumpliendo con uno de los requisitos de experimentación termoquímica solar. Además, la propuesta del sistema de control del mezclador de gases apoyará en la generación de nuevos desarrollos tecnológicos y a la generación de conocimiento en ciencia básica.

Este desarrollo del sistema de control mejorará el sistema de alimentación de gases a la mesa de experimentación del HoSIER, quien será compatible con la etapa de instrumentación y control de los flujometros para poder proporcionar al HoSIER condiciones de operación controladas ante diversos experimentos realizados por investigadores del IER.

1.6. Hipótesis

"La implantación de un sistema de control de gases con mezclador de vapor de agua en un horno de altos flujo radiativos, aumentará la variedad de diferentes lineas de gases reduciendo el tiempo empleado para el control de un flujometro y generando confiabilidad en la temperatura del flujo de salida del mezclador".

1.7. Alcances y Limitaciones

En esta sección se especifican los alcances y limitaciones del proyecto, esto se propone en función de que gran parte del material requerido para la construcción del proyecto se encuentran en el Horno Solar.

1.7.1 Alcances

- Diseño de la estructura del Banco de Estación de los Flujometros.
- Diseño de un Sistema de Control encargada de la generación de vapor de agua.
- Implantación del Sistema de Alimentación de Gases y Mezclador de Gas con vapor de agua para suministrar dicho flujo a los reactores termoquímicos empleados en el HoSIER.
- Integración del Sistema de Control en el HoSIER.

1.7.2 Limitaciones

- El diseño del sistema únicamente considera las especificaciones de los flujometros instalados en el HoSIER.
- El sistema de control será realizado usando programación gráfica.
- El sistema estará acotado a cubrir solo las necesidades de los experimentos requeridos por la mezcla de gases (Argón, Oxigeno, Dióxido de carbono y Nitrógeno) y/o vapor de agua.

1.8. Metodología de Solución

Con el objetivo de cumplir el desarrollo del proyecto de tesina se propone la siguiente metodología de solución:

- a) **Investigación:** En esta primera etapa, se recolecta y organiza toda la información relacionada al desarrollo del proyecto y se seleccionan las herramientas pertinentes para dar solución al problema planteado.
- b) **Diseño:** Con base en los componentes electrónicos que existen en el HoSIER, se propone el diseño de los sistemas de control del flujo de gases y los parametros que aseguren el funcionamiento de todos los componentes, incluyendo el CEM (Controlador Mezclador de Vapor), tipo de material y el fluido de la mezcla de gases con dirección a la mesa de experimentación del HoSIER.
- c) Implementación: En esta etapa se realiza la construcción de las estructuras métalicas de los sistemas, la instrumentación y la programación del control basada en LabVIEW. Esto requiere de la integración de algunos controladores que otorguen la facilidad de comunicación entre los dispositivos de control (Flujometros, CEM) y la interfaz gráfica.
- d) **Pruebas y Resultados:** Esta etapa describe el plan de pruebas y los resultados obtenidos, del sistema de control de gases con mezcla de vapor de agua en un horno de altos flujos radiactivos. En caso de tener perturbaciones en los resultados, se realiza un estudio de las variables que ocasionaron dichas perturbaciones y se realiza una modificación en la etapa del diseño de la estructura original y de esta forma lograr la validación del sistema, tal como se muestra en la Figura 1.1.
- e) **Validación:** En esta última etapa se evaluan los resultados obtenidos del sistema en el laboratorio, y se realizan diferentes corridas a fin de validar el cumplimiento del objetivo general y la comprobación de la hipótesis.

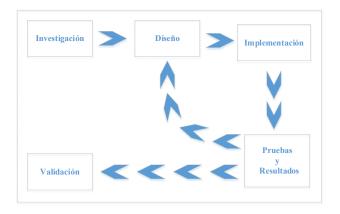


Figura 1.1. Diagrama de la Metodología de Solución del Proyecto de Tesina.

1.9. Organización de la Tesina

El presente trabajo está compuesto por cinco capítulos, están descritos a continuación.

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se describe la introducción del proyecto, planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, los alcances, las limitaciones y la metodología de solución.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se presentan los conceptos y fundamentos teóricos sobre el HoSIER, sistema SCADA, Software LabVIEW, SolidWorks y los dispositivos que integran a la mesa de experimentación.

Capítulo 3. Diseño del Sistema

Este capítulo presenta las características de las herramientas útiles para el desarrollo del proyecto, el diseño, diagramas y simulaciones de las estructuras métalicas. Además, incluye los requisitos del diseño del sistema de control de gases y sus diagramas de flujo.

Capítulo 4. Pruebas y Resultados

Este capítulo presenta el desarrollo de las pruebas realizadas a los diseños de los sistemas electrónicos integrados a la mesa de experimentación del horno solar y a la programación de los controladores. Además de la instrumentación utilizada y el análisis de los resultados.

Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Por último, este capítulo describe las conclusiones del trabajo de tesina y sus posibles áreas de oportunidad propuesto como trabajos futuros en las que puede ser mejorado el proyecto.

Capítulo 2.

Marco Teórico

En el siguiente capítulo se describen los conceptos técnicos necesarios para la comprensión del proyecto, también se incluye el software utilizado y el material que se requiere para el desarrollo del mismo.

1.1. Horno Solar de Altos Flujos Radiactivos

Un horno solar es un sistema que trabaja con energía solar concentrada capaz de producir altas temperaturas en un punto focal (aproximadamente 3,000°C). La energía resultante es usada para generar energía eléctrica, fundir metales y/o fabricar combustibles solares como hidrogeno o gas de síntesis (hidrogeno, metano y monóxido de carbono).

El HoSIER del IER-UNAM fue diseñado para un helióstato con una superficie de 81 m², un atenuador de 42.2 m² y un concentrador óptico de 409 espejos hexagonales de vidrio pulido. La estructura del HoSIER está ilustrada en la Figura 2.1.

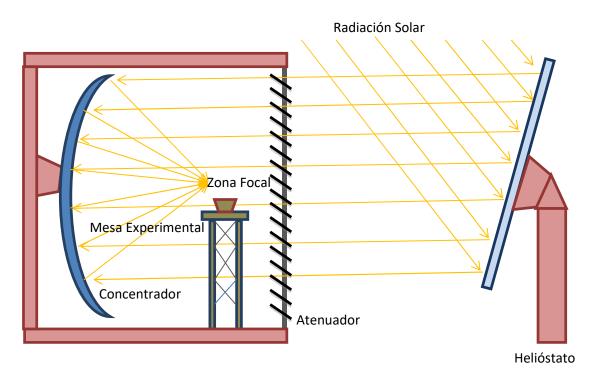


Figura 2.1. Esquema de la estructura del HoSIER.

La descripción de cada una de las partes que componen la estructura del HoSIER es presentada a continuación.

2.1.1. Helióstato

Está conformado por un conjunto de espejos y un sistema de control que permite mantener el reflejo de los rayos solares en un punto o en una pequeña superficie. El diseño y la construcción del helióstato fueron realizados por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). El helióstato tiene dimensiones de 9m x 9m y una superficie reflectiva conformada por 30 espejos planos de segunda superficie de 5 mm de espesor, con dos grupos de espejos con dimensiones diferentes: un grupo de 20 espejos con dimensiones de 1.8m x 1.3m y el otro grupo de 10 espejos de 1.8m x 1.9m. Los espejos se encuentran agrupados en 6 filas (en dirección este-oeste) y en 5 columnas (en dirección norte-sur). Los 10 espejos de mayor dimensión están ubicados en las 2 filas centrales del helióstato, mientras que el resto de los espejos están ubicados en las primeras y últimas dos filas.

2.1.2. Atenuador

El atenuador está compuesto por persianas verticales que permiten o impiden el paso de los rayos solares reflejados por el helióstato al interior del edificio donde se encuentra albergado el concentrador. El atenuador en un horno solar funge como una etapa de control, debido a que se puede determinar la cantidad energía solar que se desea trabajar.

2.1.3. Concentrador

El concentrador solar está conformado por un arreglo de espejos alineados capaz de concentrar toda la energía recibida por el helióstato hacia un punto (zona focal), creando un aumento de intensidad energética en la zona focal.

El diseño óptico del HoSIER, genera una potencia térmica de 30 kW, con flujos radiactivos picos de 18,000 soles (aproximadamente 18,000 kW/ m^2) y una mancha solar menor o igual a 6 cm de diámetro.

2.1.4. Mesa de Experimentación

Esta mesa de experimentación fue diseñada y construida para montar los dispositivos experimentales útiles para el correcto funcionamiento del HoSIER. La mesa tiene la capacidad de proporcionar un movimiento con una precisión de una décima de milímetro en cualquiera de las tres direcciones (x, y, z). Esto posibilita tener un gran control en el posicionamiento de los receptores/reactores en la zona focal del HoSIER.



Figura 2.2. Horno Solar de Altos Flujos Radiactivos (HoSIER).

El desarrollo de este trabajo de tesina requiere de realizar programas de control usando el software de LabVIEW y del diseño de algunas piezas y estructuras mecánicas usando el software de SolidWorks.

2.2. LabVIEW

En esta sección se da una breve descripción del Software de LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), la cual es un entorno de programación gráfica que permite visualizar, crear y codificar sistemas para aplicaciones de ingeniería y ciencia, está diseñado para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Sus principales aplicaciones son el adquirir y analizar datos de medida, control de instrumentos, sistemas de monitoreo y control embebido y sistemas de pruebas automatizadas.

LabVIEW utiliza símbolos gráficos (lenguaje G) para describir acciones de programación en lugar de un lenguaje textual. Cada función en el código es representada mediante un símbolo gráfico llamado VI o SubVI. Estos establecen comunicación entre sí mediante hilos o cables para formar un código de programación. Cabe mencionar que la programación en LabVIEW no es secuencial si no que está basada en un flujo de datos (DataFlow) debido al tipo de programación.

LabVIEW está formado principalmente por dos paneles principales, panel frontal utilizado para crear una interfaz de usuario con controles de entrada, visualizadores de salida, cuadros de dialogo etc., y panel de diagrama de bloques usado para desarrollar el código de programación donde define el tipo de hardware, tipo de comunicación, operaciones matemáticas, configuración de puertos etc.

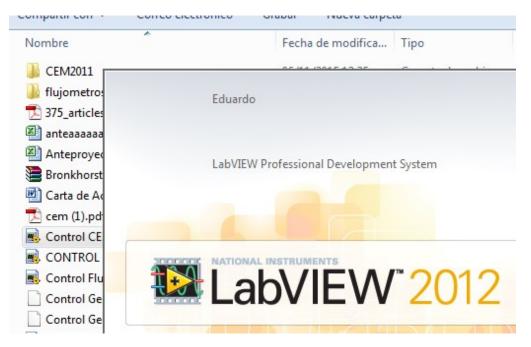


Figura 2.3. Versión del software LabVIEW.

En la Figura 2.3 se puede observar características de la versión del software utilizado, una de las ventajas, es que versiones posteriores al 2012 tienen la capacidad de modificar y trabajar con archivos elaborados en este proyecto.

En caso de tratar de trabajar con una versión pasada a LabVIEW 2012, primero se deberá abrir el archivo en una versión 2012 o posterior y desde ahí modificar la forma de guardar el archivo, debido a que este software tiene la capacidad de guardar un programa en la versión que uno desee.

2.3. SolidWorks

SolidWorks es un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) usado para diseñar y modelar de forma tridimensional componentes mecánicos, utilizando un entorno gráfico basado en el sistema operativo de Microsoft Windows.

Las principales características que hacen a Solidworks una herramienta competitiva, ágil y versátil, es que permite plasmar ideas de una forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas. Esto se debe a que tiene la capacidad de ser asociativo y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones.

Este Software está dividido en tres módulos principales: diseño, ensamblaje y dibujo de construcción. La creación de un documento de cada uno de ellos genera un archivo con distinta extensión y aunque no pueda observarse están asociadas y vinculadas entre ellas, lo cual facilita la realización de rediseños en piezas mecánicas o modelos definidos, es decir, la modificación de algún fichero da lugar a que de forma automática se actualicen los otros ficheros, aunque estos estén cerrados.

2.4. Controlador PID

Es un mecanismo de control por retroalimentación usado en sistemas de control industrial. Este mecanismo calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado, está constituido por tres parámetros diferentes: el proporcional, el integral y el derivativo.

Un controlador PID recibe una señal de entrada(generalmente es el error e(t)) y proporciona una salida (acción de control, u(t))

Generando la siguiente función de transferencia.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

Donde:

Kp: Es la ganancia proporcional.

Ti: El tiempo integral.

Td: Es el tiempo derivativo.

2.4.1 Sintonía de controladores PID

La sintonía de controladores, se conocen como las diversas técnicas usadas para definir los parámetros del controlador, a fin de cumplir con los valores del transitorio y del estado estacionario del sistema .

La primera etapa de todo procedimiento de sintonización consiste en obtener la información estática y dinámica del sistema del lazo. Existe una gran variedad de métodos para ajustar los parámetros de un controlador PID, pero todos se definen en dos tipos.

Métodos en lazo cerrado

La información de las características del lazo se obtiene a partir de un test realizado en lazo cerrado.

Imagen de un lazo cerrado

Métodos en lazo abierto

Las características estáticas y dinámicas se obtienen de un ensayo en lazo abierto, generalmente la respuesta a un escalón.

Imagen de un lazo abierto

2.4.1.1 Ziegler-Nichols

Este método consiste en obtener la respuesta de la señal medida a una perturbación (pulso en set point) con controlador proporcional.

Este sintonizador se basa en la respuesta experimental del sistema ante una entrada.

Primer método en lazo abierto o de curva de respuesta

Se obtiene experimentalmente, de la respuesta del sistema ante una entrada escalón y si la respuesta no tiene oscilaciones y además posee un retardo tal que se forma una "ese, puede obtenerse los parámetros del controlador PID.

Espacio para la tabla

Segundo método en lazo cerrado o de oscilaciones sostenidas

Se observa la respuesta y si es amortiguada, se incrementa la ganancia hasta lograr oscilaciones sostenidas la ganancia del controlador (proporcional) en esta caso se denomina como ganancia critic (Kcr), que corresponde a un periodo critico (Pcr).

Este procedimiento es valido solo para plantas estables en lazo abiertoy se lleva a cabo los siguientes pasos:

Utilizando solo el control proporcional, se asigna un valor de ganancia pequeño e incrementar la ganancia hasta que la respuesta de la planta comience a oscilar.

Registrar la ganancia critica, y el periodo critico de la salida del controlador.

Ajustar los parámetros del controlador en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Parametros de ajuste (método de oscilación).

	Кр	Ti	Td
P	0.50Kc		
PI	0.45Kc	Pc/1.2	
PID	0.60Kc	0.5Pc	Pc/8

Espacio para la tabla

2.5. Controlador Mezclador de Vapor

El controlador de mezcla de vapor (*Controlled Evaporator Mixer*, por sus siglas en inglés, CEM) utiliza un número de procesos, donde dos o más gases deben ser mezclados con vapor de agua.



Figura 2.4. Controlador-Mezclador de Vapor (CEM).

Características:

- Mezcla líquida de gas controlado con precisión de 0,25g/h hasta 1200 g/h.
- Respuesta rápida de 50 mln/min hasta 100 ln/min.
- Alta reproducibilidad.
- Flujo de vapor muy estable con una presión máxima de 100 bar.
- Selección flexible de la relación gas / líquido.
- Menor temperatura (36°C hasta 200°C) de trabajo que los sistemas convencionales.
- De control opcional por PC / PLC (RS232 / bus de campo).

2.6. Flujometros

Un flujometro Bronkhorst®, también conocido como caudalímetro es un dispositivo usado para la medición y el control del caudal o flujo. La serie de flujometros El-Flow de Bronkhorst® se muestra en la Figura 2.5, está equipado con un circuito digital que

ofrece una excelente estabilidad de temperatura y respuesta rápida alrededor de 98 ms hasta 500 ms. El circuito digital principal contiene todas las funciones generales necesarias para medición y control.

Características:

- Respuesta rápida de 98ms hasta 500ms.
- Alta precisión de 0.2 mln/min hasta 10 ln/min.
- Construcciones de acero inoxidable.
- Comunicación RS232 estándar.
- Oferta de activación mediante E / S analógicas. Además, una placa de interfaz integrado proporciona protocolos DeviceNet TM, PROFIBUS DP, Modbus, EtherCAT o FLOW –BUS. Este último es un bus de campo RS485, diseñado específicamente por Bronkhorst® *Hi-Tech* para la medición de flujo másico y soluciones de control.
- Funcionalidad opcional multi gas / de varios campos de hasta 10 bares.
- Almacenamiento de máximo 8 curvas de calibración.
- Características de control configurable por el usuario.



Figura 2.5. Flujometro Bronkhorst®.

2.7. Analizadores Químicos

Los analizadores químicos son usados para medir en tiempo real los gases que fluyen a través de ellos. Antes este procedimiento de medición en el HoSIER se realizaba de forma tradicional al no contar con un sistema automatizado que recolectara todas las mediciones en una interfaz gráfica.

2.7.1. Calomat 6

El analizador químico de gases Calomat 6 se emplea principalmente para la determinación cuantitativa de H₂ en mezclas de gases no corrosivas binarias y similares. También pueden medir concentraciones de otros gases si su conductividad térmica se diferencia, como el caso de Ar, CO₂, CH₄ o NH₃.

El principio de medición está basado en la diferente conductividad térmica de los gases. Calomat 6 funciona con un chip de *Si* fabricado con tecnología micro mecánica, cuya membrana de medición está provista de resistencias de película delgada. Dichas resistencias se regulan a temperatura constante. Requiriendo de una intensidad que adopte un valor determinado en función de la conductividad térmica del gas de muestra. Este "valor bruto" se procesa electrónicamente dando como resultado el cálculo de la concentración del gas. Para suprimir la influencia de la temperatura ambiente, el sensor está situado en una caja de acero inoxidable con un termostato. Con el fin de evitar la influencia del flujo, el sensor está montado en un orificio al lado del canal de flujo.

Características:

- Una salida analógica por cada componente a medir (de 0, 2, 4 a 20 mA).
- Dos entradas analógicas configurables (p. ej. corrección de interferencia de gases o sensor de presión externo).
- Seis entradas binarias configurables (p. ej. cambio del rango de medida o procesamiento de señales externas de la preparación de muestra).
- Seis salidas de relé configurables.
- Ampliable en ocho entradas binarias y salidas de relé adicionales respectivamente (p. ej. para la calibración automática con un máximo de cuatro gases de calibración).
- RS485 incluido en la unidad básica (conexión en la parte posterior; con unidad de 19", también detrás de la placa frontal).



Figura 2.6. Analizador Calomat 6.

2.7.2. Ultramat 23

El analizador de gas Ultramat 23 permite medir simultáneamente hasta cuatro componentes gaseosos: un máximo de tres gases activos en el infrarrojo como CO, CO₂, NO, SO₂, CH₄, así como O₂ con una célula de medición de oxígeno electroquímica.

El analizador de gas Ultramat 23 usado en plantas de biogás permite medir de forma continua hasta cuatro componentes gaseosos: dos gases activos en el infrarrojo (CO 2 y CH₄) y adicionalmente, O₂ y H₂S con células de medición electroquímicas. El analizador de gas Ultramat 23 con célula paramagnética de oxígeno permite medir de forma continua hasta cuatro componentes gaseosos.



Figura 2.7. Analizador Ultramat 23.

2.8. Convertidor Serial-USB

Un convertidor o adaptador es un dispositivo en el que se adapta un hardware o un componente de software, que convierte datos transmitidos de un formato a otro. El formato de datos puede ser, por ejemplo, un mensaje enviado entre objetos en una aplicación, o un paquete enviado a través de una red de comunicaciones.



Figura 2.8. Convertidor Serial-USB.

2.9. **Flow – Bus**

El Flow-Bus es un bus de campo, diseñado por la empresa Bronkhorst High-Tech BV, está basado en tecnología RS485, de esa forma se puede establecer comunicación desde la consola del CEM a una computadora y logrando un control mediante una interfaz.

Características:

- Velocidad de transmisión fija en 187,5 kbaudios.
- Voltaje de operación de 15... + 24Vcc.
- Una fácil instalación y comunicación con otros equipos Bronkhorst.
- Búsqueda del nodo de manera automática.
- Optimización de bus automática (fijación hueca)
- Una comunicación de RS232.
- Conexión de un máximo de 120 instrumentos.
- Máxima longitud del bus de 600 metros.



Figura 2.9. Convertidor serial- Bus.

2.10. Termopares

Un termopar es un transductor compuesto por la unión de dos metales diferentes, los cuales producen una diferencia de potencial muy pequeño, comprendido en milivolts.

En instrumentación industrial, los termopares son usados como sensores de temperatura, debido a que son económicos, intercambiables, usan conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Por lo que se clasifican en las siguientes categorías:

- > **Tipo K:** Su rango de temperatura es de -200 °C a +1,372 °C y una sensibilidad de 41 μ V/°C aproximadamente.
- > **Tipo E:** No son magnéticos y dado su sensibilidad son ideales para el uso en bajas temperaturas. Tienen una sensibilidad de 68 μV/°C.
- ➤ **Tipo J:** Su temperatura es de -270 a +1,200 °C, recomendado para uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío a 800 °C.
- > **Tipo T:** Su rango de temperatura es de -200 °C y 260 °C. Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en, criogenia y su sensibilidad es cerca de 43 μV/°C.
- > **Tipo N:** Usado para mediciones de alta temperatura, debido a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas.

En el desarrollo del proyecto se hará uso de los termopares del tipo K. Esta elección se realiza debido a que en el IER cuenta con una gran cantidad de este tipo de termopares. Además de que cubren con los requisitos del proyecto para la medición de temperatura en el HoSIER. La Figura 2.10 muestra la imagen de un termopar tipo K.



Figura 2.10. Termopar tipo K.

Capítulo 3.

Diseño del Sistema

Con base en el marco teórico del Capítulo 2, en este Capítulo 3 son mostrados los requisitos de diseño del sistema de control de gases de vapor de agua del HoSIER. También muestra las etapas de diseño del sistema de control de flujometros y control del Controlador Mezclador de Vapor instalados en el HoSIER.

3.1. Análisis de Requisitos

El diseño del sistema propuesto considera el diagrama a bloques de la Figura 3.1, la cual muestra todas las etapas implicadas en el proceso del HoSIER y en los cuales requiere del diseño final.

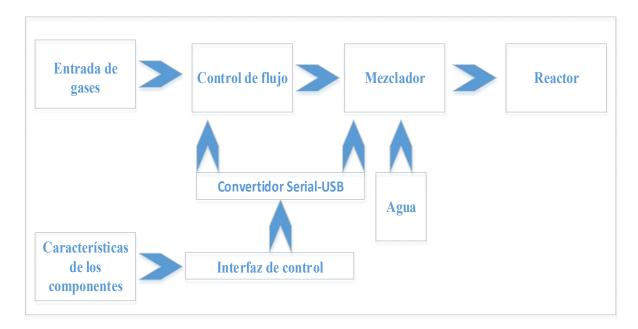


Figura 3.1. Diagrama a bloques del proceso del sistema.

A partir de la Figura 3.1 se presentan los requisitos funcionales (nominales, no nominales), de evolución, de Proyecto, de calidad y de soporte para el diseño del sistema.

3.1.1 Requisitos funcionales

A continuación, se exponen los requisitos funcionales del sistema, los cuales están divididos en dos categorías: requisitos nominales y requisitos no nominales.

3.1.1.1. Requisitos nominales

Estos requisitos describen los parámetros del funcionamiento del sistema en situaciones normales.

FN.1.

- **Descripción:** Desarrollar el control de un sistema de mezcla de gases con vapor de agua.
- Importancia: Esencial.
- Validez: Relevante, esto se debe a que se necesita llevar acabo un control del sistema por medio de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

FN.2.

- **Descripción:** El sistema de control de gases con mezcla de vapor de agua requiere para su funcionamiento del suministro de energía eléctrica.
- Importancia: Esencial.
- Validez: Relevante, sin suministro de energía eléctrica no se puede poner en funcionamiento el sistema implementado en el HoSIER y por lo tanto no se obtendrá alguna validación experimental.

FN.3.

- **Descripción:** El sistema de control de gases con mezcla de vapor de agua debe entregar a la salida un gas resultante a una temperatura mínima de 110°C.
- Importancia: Esencial.
- Validez: Relevante, la condición del rango de temperatura es un factor importante, esto debido a que se debe evitar que el vapor se condense.

3.1.1.2. Requisitos no nominales

Estos requisitos describen el funcionamiento del sistema en situaciones especiales, de error o de falla.

FF.1.

- **Descripción:** En las pruebas del sistema implantado en el HoSIER requiere de radiación Solar.
- Importancia: Opcional.

• Validez: Medible, el proyecto está enfocado a entregar mezclas de gases con vapor de agua a la mesa de experimentación del HoSIER.

FF.2

- **Descripción:** Diseñar un contenedor de agua presurizada para almacenar un máximo de 3.5 litros.
- Importancia: Opcional.
- Validez: Medible, el diseño del contenedor se puede llevar acabo en el software SolidWorks ó implantar una bomba de agua para mantener la presión requerida para el CEM.

FF.3

- **Descripción:** Si en algún momento se termina algún gas de entrada al banco de flujometros, el sistema será capaz de seguir operando de manera normal si el usuario así lo desea.
- Importancia: Opcional.
- Validez: Alcanzable, este hecho no altera el funcionamiento de la interfaz de control, por lo que no genera ningún problema en alguno de los componentes en el sistema.

3.1.2. Requisitos de calidad

Son los parámetros definidas por el cliente que debe cumplir el sistema. En esta categoría se engloban los requisitos de rendimiento, accesibilidad, facilidad de uso, etc.

CA.1

- **Descripción:** El cableado eléctrico debe estar etiquetado con su correspondiente línea de operación.
- Importancia: Opcional.
- Validez: Relevante, para posibles reestructuras del sistema.

CA.2

- **Descripción:** En la interfaz de control colocar un tablero que muestre el puerto de comunicación o flujometro con el que se está operando.
- Importancia: Opcional.
- Validez: Alcanzable, la implementación de este requisito facilita al usuario la línea de comunicación en uso.

3.1.3. Requisitos de evolución

Los requisitos para el diseño del producto facilitan en el futuro la adaptación de nuevas funcionalidades en el sistema, sujetas a las exigencias o condiciones que puedan demandar el cliente.

EV.1

- **Descripción:** La interfaz de control debe tener la posibilidad de guardar los datos de control y lectura.
- Importancia: Condicional.
- Validez: Medible, la opción de guardar un archivo, generaría un registro del uso de gases.

EV.2

- **Descripción:** La interfaz de control debe tener por separado el control de gases y la mezcla de vapor de agua.
- Importancia: Condicional.
- Validez: Alcanzable, llevar a cabo este requisito generara un mejor trabajo a la hora de operar los sistemas.

3.1.4. Requisitos de proyecto

Son requisitos que afectan y condicionan el proceso de desarrollo del proyecto.

PR.1

- **Descripción:** Tener disponibles por lo menos dos gases diferentes para poder realizar la medición, control y mezcla de gases.
- Importancia: Esencial.
- Validez: Relevante, es de gran importancia que este requisito se cumpla, de lo contrario no hay forma de realizar pruebas y no hay forma de validar el sistema.

3.1.5. Requisitos de soporte

Los requisitos de soporte deben ser cumplidos por el cliente (a diferencia de los anteriores).

S_{0.1}

- **Descripción:** Se necesita adquirir dispositivos de comunicación un FLOW-BUS, un convertidor serial-USB y un multipuerto USB.
- Importancia: Esencial.
- Validez: Relevante, la instalación de los dispositivos de comunicación es necesario para realizar la interfaz gráfica.

S0.2

- Descripción: Herramientas de trabajo y material de construcción.
- Importancia: Esencial.

• Validez: Relevante, la construcción de las estructuras de soporte y la herramienta mecánica para la instalación del sistema.

3.2. Diseño

Con base en el análisis de requisitos proporcionados por el IER se propone el diseño del sistema de control de gases con mezcla de vapor de agua en un horno de altos flujos radiativos (HoSIER) en dos etapas: La primera etapa la conforma el banco de trabajo de los flujometros y la segunda etapa está definida por la etapa de mezcla con vapor de agua.

En la figura 3.2 se puede observar en la parte izquierda de la Figura 3.2, los bloques con nombres de los gases (Argón, Nitrógeno, Oxigeno, Dióxido de carbono y gas Metano), las cuales representan la sección de entrada al banco de trabajo de los flujometros, controlando el flujo de gas al bloque llamado "Tubería Bus", donde se mezclan todos los gases seleccionados.

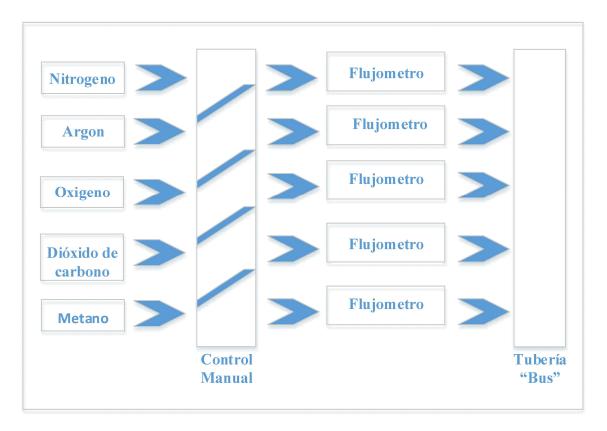


Figura 3.2. Diagrama a bloques del sistema de flujometros.

Una vez descrita la primera etapa, se continuó con el diseño de la segunda parte, donde se lleva a cabo la mezcla de gases con vapor de agua. En la Figura 3.3 se observa que el

bloque de "Tubería Bus" es la entrada de mezcla de gases al CEM y otra de las entradas es el bloque de agua, el cual es fundamental si se desea trabajar con vapor de agua.

Cada una de las etapas descritas posee su sistema de control independiente, la cual cumple con los requisitos nominales del proyecto.

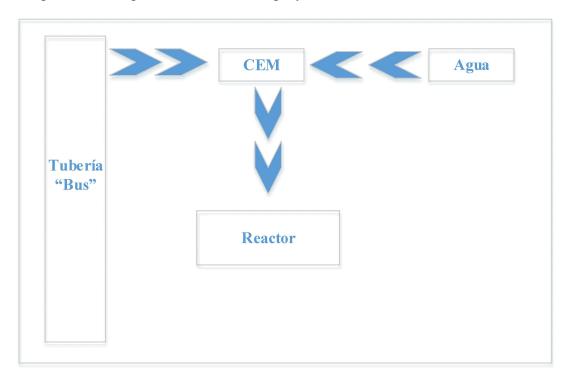


Figura 3.3. Diagrama a bloques del mezclador de gas con vapor de agua.

Y por último, la parte del gas resultante va al reactor por medio de una tubería cubierta por una cinta aislante o una resistencia calefactora para prevenir que el gas se condense y asegurar que el gas llegue a una temperatura deseada dentro del reactor del HoSIER.

3.3. Diseño de la estructura mecánica del Sistema de Flujometros

Una vez terminado el diseño a bloques de las etapas del proyecto, se realizó el diseño de la estructura en aluminio para el banco de flujometros. La selección de la estructura de aluminio se basa a que las piezas a colocar sobre la estructura no son muy pesadas. El diseño es realizado en cuatro etapas, con dos flujometros conectados en paralelo en cada una de las etapas.

Especificaciones:

- ✓ Largo 1m, Ancho 40cm, Altura 1m.
- ✓ 25 cm de separación entre cada etapa.
- ✓ 40 cm la ubicación de los flujometros desde la entrada de gases.

✓ Cableado eléctrico fijo y con sus respectivas etiquetas.

El diseño de la estructura fue pensado con la idea de agregar más flujometros, con el fin de tener una mezcla de gases con mayor variedad, ver figura 3.4.

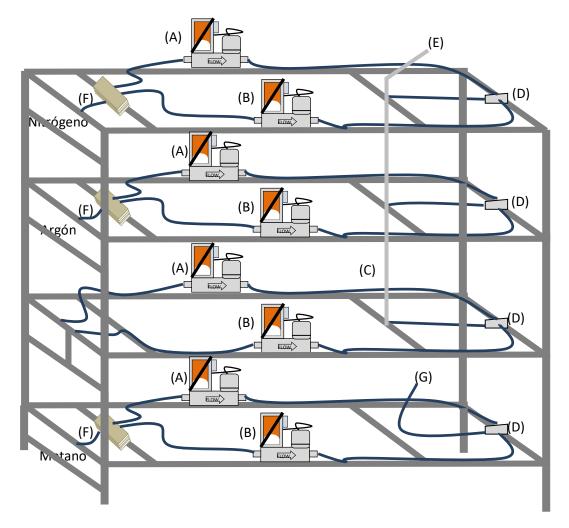


Figura 3.4. Diseño y distribución del banco de flujometros: 1) Las letras A y B representan los flujometros; 2) la letra C representa la Tubería Bus; 3) la letra D representa los filtros de un solo paso con dirección único a la Tubería Bus; 4) la letra E representa la salida de gases del banco; y 5) las letras F representan una conexión de una entrada dos salidas.

A continuación, se describen con más detalles las letras descritas en la Figura 3.4.

- (A). Muestran la ubicación de los flujometros de 30 ln/min.
- (B). Muestran la ubicación de los flujometros de 10 ln/min.
- (C). Es la ubicación del "Tubo Bus", es donde se concentra la mezcla de gases.

- (D). Son filtros de un solo paso, permitiendo el flujo de gas proveniente de los flujometros con dirección a la tubería Bus, de esa manera evita la contaminación en el área de paso controlado.
- (E). Representa la salida de gases del banco de flujometros.
- (F). Representa una conexión tipo T, en la cual hay una entrada y dos salidas dirigidas a los flujometros de esa etapa.

3.4. Diseño de la estructura mecánica del mezclador de vapor de agua

El diseño de la estructura mecánica se realizó con material de aluminio usado para el banco de flujometros. En esta etapa se realiza un diseño en SolidWorks de un contenedor de agua presurizada en material de acero inoxidable (ver anexos).

Especificaciones de la estructura:

- Largo 40cm, Ancho 40cm, Altura 1mt.
- 35cm de separación entre cada etapa.
- Cableado eléctrico fijo y con sus respectivas etiquetas.

Especificaciones del contenedor:

- Altura 18.6cm.
- Ancho 15.91cm.
- Grosor 6mm.
- Capacidad de 3.5 litros.

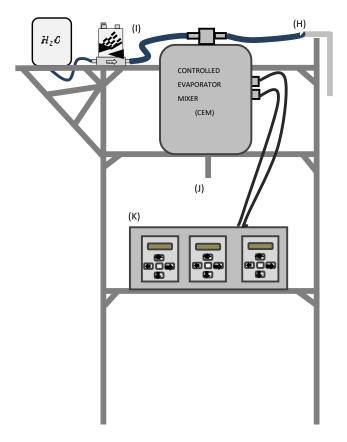


Figura 3.5. Diseño de la estructura CEM (El inciso k representa la consola de control del CEM, el inciso j representa la salida del gas a una temperatura elevada, el inciso H representa la entrada de mezcla de gases y el inciso I representa el flujo de agua).

A continuación, se describen con más detalles los incisos descritos en la Figura 3.5.

- (K). Muestran la ubicación de la consola de control del CEM.
- (J). Representa la salida de la mezcla de gases con vapor de agua.
- (H). − Es la entrada del sistema, de la mezcla de gases proveniente de la Tubería Bus del banco de flujometros.
- (I). Es la entrada de agua presurizada al sistema.

3.5. Diseño de la interfaz de control

Una vez mostradas las etapas de diseño, se desarrolla la interfaz de control para las dos etapas que conforman al sistema, esto con base a los requisitos descritos. A continuación, se describe el diseño y funcionamiento de las dos interfaces de control.

3.5.1. Interfaz de control del banco de flujometros

En la Figura 3.6 se explica mediante un diagrama de flujo el funcionamiento básico de la interfaz de control del banco de flujometros, el cual presenta la ventaja de controlar todos los flujometros y de la posibilidad de incorporar mas flujometros, esto se debe a que puede desconectarse de un puerto de comunicación sin perder las instrucciones enviadas. Los valores se reestablecen hasta que se deja de ejecutar el programa.

En la figura 3.7, se denotan las características principales de la interfaz de control, el cual posee de un tablero indicador del puerto de comunicación, las gráficas de las señales, donde muestra la señal de control y la señal de lecturas medidas.

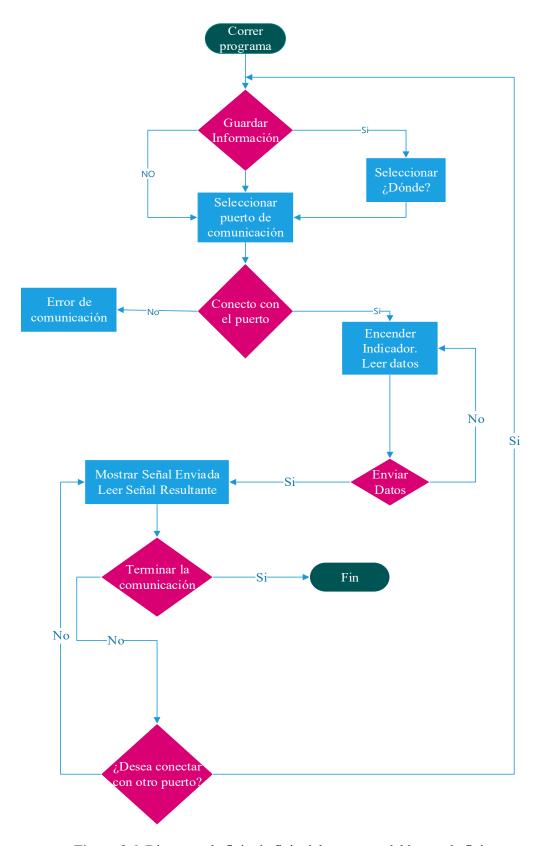


Figura 3.6. Diagrama de flujo de flujo del programa del banco de flujometros.

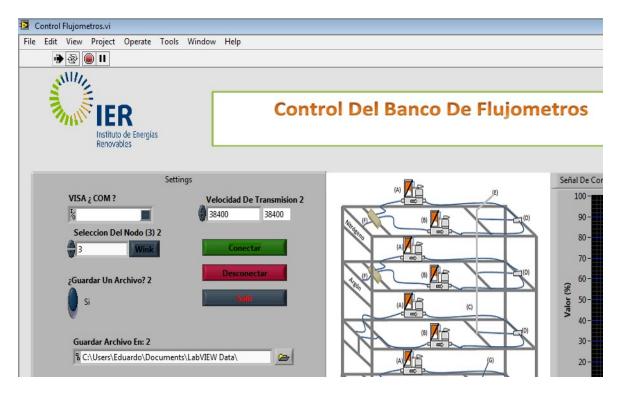


Figura 3.7. Interfaz de la primera etapa del sistema.

3.3.2 Interfaz de control del Mezclador de Vapor de Agua.

En la interfaz del Mezclador de Vapor de Agua se instala el controlador FLOW-BUS, el cual permite la comunicación bus de datos a la consola de control del CEM, esta configuración de bus de datos permite realizar la comunicación con los tres puntos de control del CEM, de esa forma se puede controlar la temperatura de trabajo, el control de flujo de agua y de la mezcla de gas proveniente de la etapa del banco de flujometros.

La Figura 3.8 muestra la interfaz de control del mezclador de vapor de agua, el cual tiene la posibilidad de manejar los tres puntos de control, esto es debido a que presenta la ventaja de desconectarse y conectarse a otro puerto sin restaurar los valores de inicio, es decir, si se manda un valor de 130°C de trabajo y se desconecta del puerto de control de temperatura, con el objetivo de controlar el flujo de agua, no existe ningún problema debido a que el valor de trabajo de temperatura se mantendrá en 130°C a menos que sea modificada o se deje de ejecutar el programa.

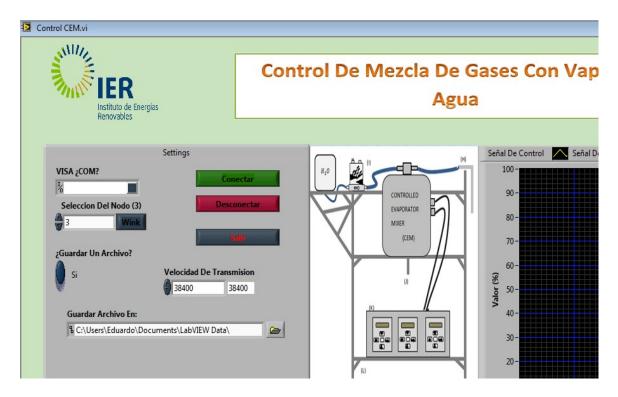


Figura 3.8. Interfaz de la segunda parte del sistema.

En el aseguramiento del manejo de un control constante y la temperatura del gas deseado en el sistema se propone otra interfaz gráfica, donde muestra las mediciones provenientes de los sensores de los termopares tipo K. Para lograr esto, se considera un termopar en la salida del CEM y otra a la salida de la tubería y/o entrada de la mesa de experimentación, esto con el fin de verificar la temperatura y los cambios que sufre al fluir por la tubería de aproximadamente 1.20 metros.

3.3.3 Interfaz de temperatura

Se agrega un diseño extra, el cual comprende las mediciones de temperatura en el tubo transportador de la mezcla de gases, aunque para los experimentos que se llevan a cabo en la mesa de trabajo del HoSIER cuenta con esta instrumentación, al sistema se le agrega esta opción, dejando posibles trabajos futuros y convierte al sistema más independiente y compatible para otros tipos de experimentación. La interfaz que se muestra en la Figura 3.9 comprende la lectura de dos termopares que indican la temperatura inicial (el gas resultante del CEM) y la final (gas de entrada para la mesa de experimentación del HoISER). También tiene la capacidad de realizar una gráfica correspondiente a la lectura de los termopares y almacenar los datos en un archivo.

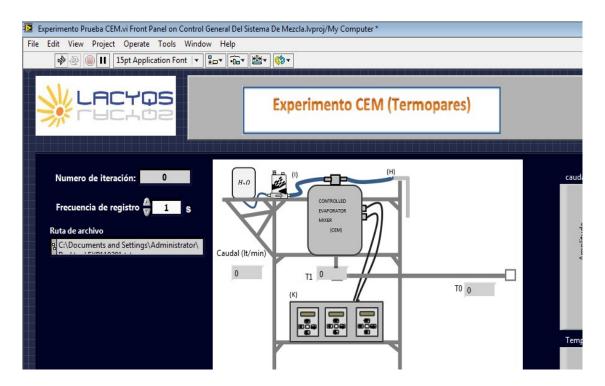


Figura 3.9. Interfaz de temperatura.

3.3.4 Características de la interfaz de control del sistema

Los diseños de la interfaz gráfica de las dos etapas que conforman el proyecto, se agregaron varias pestañas para lograr un mejor control del sistema. A continuación, se enlistan las dos principales características de la interfaz gráfica.

SETTINGS.- Es la pestaña principal de la interfaz y es donde empieza todo el control, siendo donde el usuario selecciona el puerto COM al que se desea conectar, la velocidad (representada en baudios) al que se desea trabajar, la opción de obtener un archivo de respaldo de todas las lecturas medidas en el momento de la experimentación, de ser necesario la posibilidad de cambiar el nodo o punto de comunicación y los botones de conexión y desconexión del sistema ,en la Figura 3.10 se representa el diseño y acomodo de cada opción.



Figura 3.10. Primera pestaña de la interfaz.

SETPOINT.- En la pestaña mostrada en la Figura 3.11 es donde se envían los datos al sistema, en el primer recuadro se envía un dato de 0 a 100, este valor la interfaz la entiende como un valor de porcentaje de trabajo y es el que indica si se trabaja con un 50% o un 90% según sea el caso de la experimentación que esté llevando a cabo el usuario. En caso de trabajar con valores más precisos, es decir, trabajar con valores estáticos, es en el segundo recuadro donde escribe la cantidad de litros por minuto que desea el usuario como entrada a la mesa de experimentación, esto en caso del banco de flujometros. No obstante, en el CEM podría entenderse como la temperatura a la cual desea trabajar. Para que la interfaz procese los datos escritos en los recuadros antes mencionados es necesario dar click en los botones de enviar. Y por último, se agregaron botones de porcentaje con valores considerados como comunes en los procesos de experimentación, de esa manera se facilita el control al usuario.

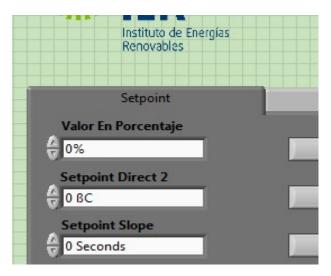


Figura 3.11. Pestaña SETPOINT de la interfaz de control.

Capítulo 4.

Pruebas y Resultados

Este capítulo presenta las pruebas y resultados del trabajo de tesina. En el capítulo se dan detalles de las condiciones de las pruebas, indicando la forma de validación experimental de los diseños propuestos y principalmente el diseño general del sistema de control de gases de vapor de agua del HoSIER.

4.1. Construcción de la Estructura Mecánica

La construcción de las estructuras mecánicas se llevó a cabo en el laboratorio de concentración solar del IER, donde el material principal fue cuadros de aluminio, tornillos y rondanas. A continuación, se describe el desarrollo de la construcción de las dos etapas que conforman al proyecto.

4.1.1 Banco de flujometros

El banco de flujometros se construyó a base de estructuras de aluminio ligeras para poder realizar el cableado por el espacio del orificio de la estructura y no afectar la imagen, calidad y seguridad del sistema.

En la Figura 4.1 se puede observar la validación del diseño propuesto para la primera etapa del sistema, el montaje de los flujometros y la forma en la que se realizó el cableado eléctrico y la conexión neumática.

El banco se encuentra ubicado debajo de la mesa de experimentos del horno solar y es controlado por un ordenador que también se encuentra en el mismo lugar, debido a que controla otros procesos del horno solar.

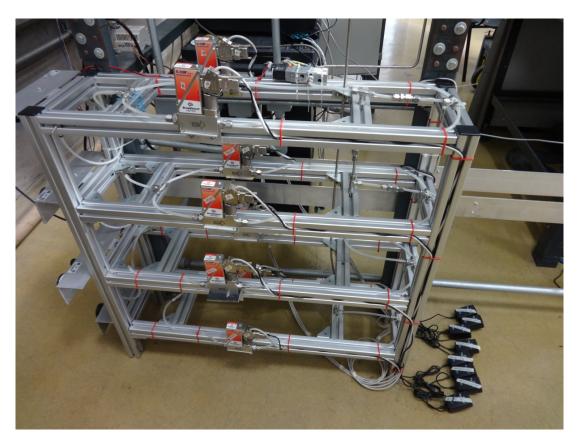


Figura 4.1. Banco de flujometros.

Las entradas del banco de flujometros se conforma por tres partes, la primera es la señal de control la cual se lleva a cabo por medio de cables seriales (Figura 4.2), cada uno de los cables fueron etiquetados con nombres del flujometro al que pertenecen.



Figura 4.2. Cables de control de los flujometros.

La segunda entrada es la corriente eléctrica y la tercera es representada por los diferentes gases de alimentación que van conectados a la etapa encargada de regular el flujo de gas, el cual se visualiza en la Figura 4.3, los cuales corresponden a las diferentes líneas de gas, cada sección contiene una manija de paso, un medidor y un regulador de presión.

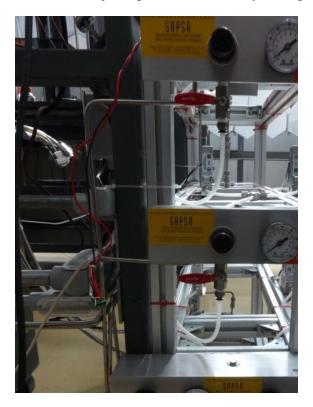


Figura 4.3. Etapa de control manual de los gases.

Los flujometros fueron adaptados a un adaptador multipuerto USB compuesto por 9 nueve puertos, estos se conectaron a los adapatadores serial USB. Este tipo de conexión s muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4. Multipuerto USB.

4.1.2 Mezcla de gas con vapor de agua.

Una vez realizada la comunicación con el banco de flujometros, se procedió a revisar la forma de lograr la comunicación con la consola del CEM, esto se realizó mediante el Flow-Bus, el cual se observa en la Figura 4.5. Este controlador se comunica con la consola por medio de un cable Ethernet y con el ordenador se conecta por medio de una comunicación serial, donde también se ocupa un convertidor serial-USB.



Figura 4.5. Conexión del FLOW-BUS.

Una vez establecida la comunicación, se realizó la construcción y el montaje de la segunda etapa, el cual fue construido con el mismo material de aluminio usado en el banco de flujometros.

La segunda etapa fue ubicada cerca de la mesa de experimentación, esto se debe a que una mayor distancia, provoca complicaciones para mantener una temperatura mínima de 110°C a su salida, en la Figura 4,6 se puede observar como queda físicamente la implementación.

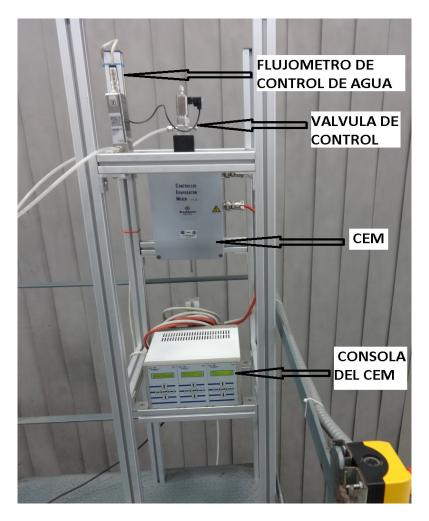


Figura 4.6. Estructura de la segunda etapa del sistema.

4.2. Plan de Pruebas

Las pruebas realizadas al sistema completo están divididas en las siguientes pruebas.

Prueba 1. Respuesta del Controlador-Mezclador de Vapor.

Una vez implementado el sistema mezclador de vapor de agua, se realizaron pruebas con la interfaz de control de esta etapa (Figura 3.8), con el fin de observar el tiempo de respuesta a un 50% de trabajo que equivale a una temperatura de 100°C, lo que genera la siguiente gráfica:

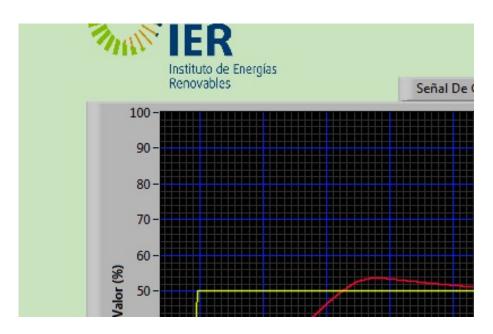


Figura 4.7. Respuesta de la temperatura del CEM.

En la Figura 4.7 observe que el tiempo que tarda para tener un estado estable es de 20 minutos, tiempo que debe considerar en aumentar la temperatura a un valor mayor a los 100 °C durante 20 minutos antes de llevar a cabo algún tipo de experimentación.

Antes de realizar un trabajo de experimentación es necesario tomar en cuenta que primero se debe poner a trabajar la caldera del CEM alrededor de 35 minutos para lograr una temperatura adecuada para los experimentos de la mezcla de gases con vapor de agua. Se realizaron diferentes pruebas con varios porcentajes de trabajo, dando como resultado la tabla siguiente.

Tabla 4.1. Tiempos de espera.

Temperatura deseada	Tiempo de espera
75°C	15 minutos
100°C	20 minutos
125°C	25 minutos
150°C	30 minutos
175°C	35 minutos
195°C	39 minutos

Prueba 2. Medición de Temperatura.

Esta prueba consiste en validar una temperatura de salida minima de 110°C, la temperatura de trabajo para la primer prueba fue de 130°C, los resultados fueron medidos con dos termopares, el cual uno de ellos esta ubicado a la salida del CEM y el otro hasta la salida del tubo, esto para observar la perdida de calor de un punto al otro, tal como se observa en la Figura 4.8.

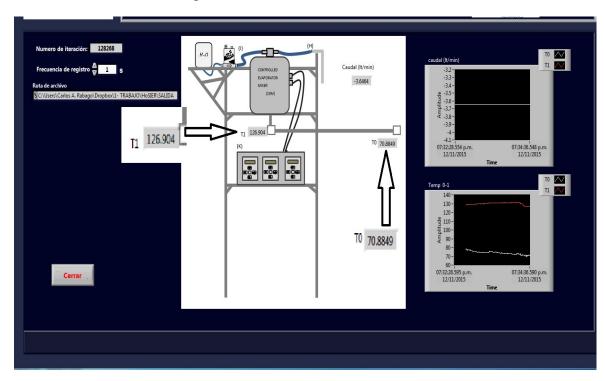


Figura 4.8. Medición de temperaturas.

En la figura 4.8 se puede observar la medición de los termopares al trabajar con una temperatura de 130°C, por lo que la pérdida de temperatura del termopar T1 al T0 es de 56°C. En esta prueba fueron realizadas varias pruebas a diferentes rangos de temperatura y los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados de temperatura primer prueba.

Temperatura de trabajo	Temperatura (T1)	Temperatura (T0)
130°C	126.904	70.8849
140°C	136.156	80.1058
150°C	145.978	89.9989
160°C	155.042	98.8976
170°C	164.771	105.5936
180°C	174.098	110.23953
190°C	182.768	112.7934

En la tabla 4.2 se observa que a mayor temperatura de trabajo se tiene una caída de temperatura grande al momento de medir con el termopar T0, esto se debe a que el calor es disipado por el tubo.

Prueba 3. Aislamiento del tubo.

Con respecto a la segunda prueba realizada, se optó por aislar el tubo y volver a realizar pruebas con diferentes temperaturas para de esa forma comprobar los resultados.

El material que se ocupo fue esponja de hule, el cual es ocupado para cubrir tuberías de aire acondicionado, después se hizo un recubrimiento con papel aluminio.

En la Figura 4.9 se observa que en los puntos donde se encuentran los termopares el aislamiento fue difícil y genero una disipación de calor, la cual es necesaria para realizar la medición de temperatura.



Figura 4.9. Aislamiento del tubo.

Una vez terminado el aislamiento se realizaron nuevamente las pruebas a todo el sistema para obtener la validación del proyecto, debido a que se debe asegurar que la temperatura al final de la tubería sea de 110 °C como mínimo.

En la Figura 4.10 se observa como queda finalmente aislado el tubo, una vez concluido el proceso de aislamiento, se realizan diferentes pruebas a diferentes temperaturas con el fin de observar pérdidas de calor.

En la Tabla 4.3 se muestra los resultados obtenidos después de haber aislado el tubo de salida, dando como resultado una temperatura mínima de 110°C a un porcentaje de trabajo menor en comparación con la prueba dos. De esta forma validamos uno de los requisitos del proyecto, el cual es tener una temperatura de salida de 110°C como mínima.



Figura 4.10. Aislamiento completo del tubo.

La prueba realizada fue con un tubo de 1.20 metros de largo y 1.54 cm de ancho de un material de acero inoxidable con un coeficiente de temperatura de 0.00094, esto explica que cuanta más temperatura, más resistividad del tubo y por ende su conductividad, lo cual provoca una disipación de calor. Es por esta razón que se logra poca perdida de calor.

Tabla 4.3 Resultados de temperatura segunda prueba.

Temperatura de trabajo	Temperatura (T0)	Temperatura (T1)
130°C	128.897	89.3782
140°C	139.187	99.3959
150°C	148.838	108.3485
160°C	159.092	117.8390
170°C	169.183	125.3784
180°C	178.062	129.9370
190°C	188.087	134.7498

En la tabla 4.3 se comparan las temperaturas T0 y T1 el cual representa el punto de salida del CEM y el de entrada al reactor respectivamente, y la temperatura trabajo indica el valor de trabajo del mezclador CEM. Los valores expresados en la tabla 4.3 fueron realizados cuando el reactor no se encontraba operando, eso indica que la temperatura que alcanzamos, fue bueno, esto se debe, porque todavía falta sumar la energía calorífica del reactor pérdida de calor que produce al llevar acabo los procesos de experimentación.

Una vez que se corrobora la temperatura mínima de trabajo en el ducto de salida, se procede a corroborar las mediciones de los gases en la salida del sistema, esto con el fin de comprobar que el control es efectivo, para esto se ocupan los analizadores, y se empiece a realizar un banco de pruebas con diferentes tipos y cantidades de gases provenientes del banco de flujometros.

Prueba 4. Mezcla de oxigeno con argón

Prueba 4 esta prueba consiste en trabajar con un 10% de oxigeno y un 5% de argón y observar el comportamiento del sistema y verificar que en la salida se obtengan las mismas cantidades de trabajo.

Prueba 5. Mezcla de oxigeno con aire

Prueba 4 esta prueba consiste en trabajar con un 10% de oxigeno y un 5% de argón y observar el comportamiento del sistema y verificar que en la salida se obtengan las mismas cantidades de trabajo.

Prueba 4. Mezcla de argón con aire

Prueba 4 esta prueba consiste en trabajar con un 10% de oxigeno y un 5% de argón y observar el comportamiento del sistema y verificar que en la salida se obtengan las mismas cantidades de trabajo.

Capítulo 5.

Conclusiones y Trabajos Futuros

Este capítulo presenta las conclusiones obtenidas del proyecto, estas ideas surgieron durante el desarrollo debido a que se tomaron algunas decisiones que generaron resultados fuera de lo esperado y dado a eso, surgieron ideas reconstructivas e innovadoras que describen la contribución al diseño del sistema del HoSIER.

3.1. Conclusiones

El desarrollo del proyecto origina algunas ideas de control, por lo que se optó por dividir el proyecto en dos etapas para realizar dos sistemas independientes, la cual permite realizar trabajos de experimentación con mezcla de gases y/o mezcla de gases con vapor de agua, con un mínimo de errores en el proceso de experimentación.

Al principio se había propuesto que en la entrada de gases al banco de flujometros se instalara una electroválvula la cual fungiría como paso, ya sea para un flujometro o para el otro, esto se debía a que cada flujometro tiene características de paso por minuto diferente, uno permite 30 litros por minuto mientras que el otro solo 10 litros por minuto, para ello se hizo un rediseño, para obtener una mayor eficiencia del sistema. El nuevo diseño dio como resultado una cantidad mayor en la salida de cada etapa del sistema, en lugar de ser 30ln/mn, creció a 40ln/mn y un menor costo en la construcción del sistema, debido al ahorro del coste de tres electroválvulas.

Durante el desarrollo del proyecto hubo espacio a un rediseño en el banco de flujometros, lo que ocasiono un pequeño problema, debido a que no se tenía señalizado el sistema, esto se corrigió generando una estructura con mayor control visual y un ahorro de tiempo para posibles modificaciones o correcciones de futuras fallas.

En este tipo de proyecto no se puede ocupar cualquier herramienta y mucho menos improvisar material en el área de automatización, ya que podría ocasionar problemas serios, al momento de realizar un experimento en el horno solar.

De esta manera se logra obtener la implantación del sistema propuesto, y se valida la hipótesis propuesta, porque se redujo los errores en control del flujo de gases que

ingresan al mezclador y al reactor de la mesa de experimentación del horno solar de altos flujos radiativos.

3.2. Trabajos Futuros

Los trabajos futuros identificados en el mejoramiento y desarrollo del proyecto son:

- El sistema de control de la mezcla de gases con vapor de agua tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de flujometros, aumentando con esto un incremento en la cantidad de gases a controlar y provocando como consecuencia una mayor variedad de gases mesclados.
- 2. La interfaz de control puede ser extendida al considerar eventos aleatorios de desajuste de sensores, fallas y averías de los sensores y flujometros.
- 3. Implementar un sistema de indicadores en la estructura del banco con la finalidad de visualizar las partes activas de cada etapa y de esa manera lograr más puntos de seguridad.

Referencias Bibliográficas

- [01] Daneels, A., & Salter, W. (1999). International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. WHAT IS SCADA? Trieste, Italy: CERN.
- [02] Valentín Labarta, J. L. (2008). Introducción a los circuitos neumáticos. España: Donostiarra.
- [03] Arancibia Bulnes, C., & Best Brown, R. (2010). Energía del Sol. Ciencia "Revista de la academia de ciencias", 10-17.
- [04] Caño, A. (2009). "Tecnologías de transformación solar-eléctrica".
- [05] Domingo Peña, J., Gámiz Caro, J., Grau i Saldes, A., & Martinez García, H. (2003). Introducción a los autómatas programables. UOC.
- [06] IER-UNAM. (n.d.). Universidad Autónoma de México. Retrieved Enero 15, 2014, from Instituto de Energías Renovables: http://xml.cie.unam.mx/xml/
- [07] ISA-S5.1, N. (n.d.). ISA-S5.1: Sobre simbología e identificación de la instrumentación.
- [08] LACYQS-IER-UNAM. (n.d.). Laboratorio Nacional de Infraestructura en Sistemas de Concentración Solar y Química Solar. Retrieved Enero 15, 2014, from http://lacyqs.cie.unam.mx/es/index.php/instalaciones/horno-solar-de-alto-flujo-radiativo
- [09] Marín, C. E. (2010). La energía solar termoeléctrica en España. Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.
- [10] Moya, J. M. (n.d.). Redes y Sevicios de Telecomunicaciones. Thomson.

- [11] Pérez Rábago, C. A., Guzmán Galán, R., Flores Guzmán, N., Brito, E., Marroqui García, D., Pérez Inciso, R., . . . Estrada, C. A. (n.d.). Control system for the high-flux solar furnace of cie-unam in temixco, mexico. First stage. System for the high-flux solar furnace of cie-unam in temixco, mexico. First stage. Cuernavaca, méxico.
- [12] rebolledo, a. (2012). ingenieria en software. jiutepec: upemor.
- [13] Romero Álvarez, M. (n.d.). Energía Solar Termoeléctrica. CIEMAT.
- [14] Solar, C. d. (n.d.). Libro Solar. CORFO.
- [15] Solé, A. C. (2011). Instrumentación industrial. Barcelona: Marcombo.

Anexos

El diseño del anexo 1, representa el contenedor de agua presurizada, el cual contiene aproximadamente 1.8 lt de capacidad.

Este contenedor fue diseñado para la segunda etapa del sistema, con el fin de alimentar con agua presurizada al CEM.

